

植物精油的抗氧化活性 及其在果蔬保鲜上的应用研究进展

龙 娅^{1,2}, 胡文忠^{1,2,*}, 李元政^{1,2}, 萨仁高娃^{2,3}, 冯 可^{1,2}, 管馨馨^{1,2}, 老 莹^{1,2}

(1.大连民族大学生命科学院, 辽宁大连 116600;

2.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁大连 116600;

3.大连理工大学生命科学与技术学院, 辽宁大连 116024)

摘要:植物精油种类繁多,在植物科属中分布也十分广泛,其中含量较为丰富的有松柏科、兰科、樟科、芸香科、伞形科、唇形科及姜科等。植物精油因其具有一定抗氧化活性和广谱抑菌作用被广泛应用于果蔬的贮藏保鲜中。本文综述了植物精油的抗氧化活性成分、抗氧化作用机制,并详细分析了精油熏蒸处理、精油微胶囊、精油复合涂膜和精油保鲜纸的保鲜原理及其在果蔬贮藏保鲜中的应用,旨在为植物精油在果蔬保鲜中的研究和应用提供理论基础。

关键词:植物精油, 抗氧化机制, 果蔬保鲜

Research Progress on Antioxidant Activity of Plant Essential Oil and Its Application in Fresh-keeping of Fruits and Vegetables

LONG Ya^{1,2}, HU Wen-zhong^{1,2,*}, LI Yuan-zheng^{1,2}, SAREN Gao-wa^{2,3},

FENG Ke^{1,2}, GUAN Qing-xin^{1,2}, LAO Ying^{1,2}

(1.College of Life Science, Dalian Minzu University, Dalian 116600, China;

2.Key Laboratory of Biotechnology and Bioresources Utilization, Ministry of Education, Dalian 116600, China;

3.College of Life Science and Biotechnology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: There are many kinds of essential oils, which are also widely distributed in plant families and genera. Among them, coniferae, orchidaceae, lauraceae, rutaceae, umbelliferae, labiatae and zingiberaceae are rich in essential oils contents. Essential oil is widely used in the storage and preservation of fruits and vegetables because of its antioxidant activity and broad-spectrum bacteriostasis. In this paper, the antioxidant active components and antioxidant mechanism of essential oil are summarized, and the preservation principles of fumigation of essential oil, microcapsules of essential oil, composite coating of essential oil and preservative paper of essential oil and their applications in storage and preservation of fruits and vegetables are analyzed in detail, aiming to provide theoretical basis for the research and application of essential oil in the preservation of fruits and vegetables.

Key words: plant essential oils; antioxidant mechanism; fresh-keeping of fruits and vegetables

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2019)23-0343-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.056

引文格式: 龙娅, 胡文忠, 李元政, 等. 植物精油的抗氧化活性及其在果蔬保鲜上的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(23): 343-348.

精油是一类植物源的次生代谢产物,是萃取自植物的叶、花、根、茎或果实等不同组织部位的具有挥发性油状液体的芳香类物质^[1-2]。精油的成分十分复杂,通常主要由单萜、倍半萜烯、脂、醛、酮、醇等化学成分组成,具有特殊气味,可用作天然的抗氧化剂和抗菌剂^[3-4]。目前,化学合成的抗氧化剂虽然抗

氧化能力比较强,但长期使用会对人体产生一定的潜在毒性,越来越受到消费者的排斥,由此更加安全的天然抗氧化剂拥有更强的应用价值^[5]。

植物精油可作为一类纯天然、无毒、无害的植物性添加剂^[6],其内含有大量酚类化合物,可有助于保护细胞免受自由基引起的氧化损伤,从而降低心血

收稿日期: 2019-03-26

作者简介: 龙娅(1995-),女,硕士研究生,研究方向:食品质量与安全, E-mail: 1953204477@qq.com。

* 通讯作者: 胡文忠(1959-),男,博士,教授,研究方向:食品科学, E-mail: h wz@dlnu.edu.cn。

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0400903);国家自然科学基金项目(31471923、31172009);国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD38B05)。

管疾病、神经系统疾病和各种癌症的风险^[7],因此常作为抗氧化剂或天然食品添加剂应用于食品工业。Kasniewska 等^[8]研究发现添加 1%~10% 牛至精油的普兰士多糖涂膜处理可有效降低多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的活性,保持贮藏期内小洋白菜的外观和色泽,从而延长其货架期,由此可见植物精油具有良好的抗氧化活性。

本文从植物精油的抗氧化活性成分、抗氧化作用机制及其在果蔬保鲜中的应用进行综述,以期对植物精油的抗氧化活性功能在开发果蔬保鲜剂方向应用提供理论依据。

1 植物精油的抗氧化活性

1.1 植物精油的抗氧化活性成分

植物精油所含化学成分的种类、所占比例的不同是导致植物精油生物学功能性差异的主要原因。一般而言,每种精油中可能含有 2~3 种成分,其所占比例较大,而所占比例较大的活性成分在很大程度上直接决定该植物精油的生物学特性^[9]。Bourgou 等^[10]在对四种艾草精油进行抗氧化活性测试时发现四种精油均具有良好的抗氧化活性,但不同种类的精油抗氧化活性有所不同。

植物精油的种类众多,其中很多精油都含有抗氧化活性物质,目前受到广泛关注且研究较多的一些唇形科植物、樟科植物、姜科植物和桃金娘科植物等^[11]。从唇形科植物提取出的植物精油,特别是百里香、迷迭香、牛至和鼠尾草精油,其抗氧化活性已被广泛研究及应用。根据酸度和极性对牛至精油进行分离,结果发现香芹酚和百里香酚占精油成分的 78%~82%,这两种酚类物质是牛至精油发挥抗菌和抗氧化活性的关键成分^[12]。此外,两种单萜烯类物质(γ -萜烯和对伞花烃)分别占精油成分的 5% 和 7%,有助于牛至精油发挥抗氧化活性^[11]。Han 等^[13]通过气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术对牛至不同部位提取出的精油进行化学成分鉴定,并通过 2,2-二苯基-1-苦基肼(DPPH)自由基清除实验来研究该精油的抗氧化活性,研究发现从牛至花叶中提取出的精油抗氧化活性最好,这是因为牛至花叶中香芹酚和百里香酚活性成分含量接近 50%,是起抗氧化作用的主要成分,且当精油浓度为 1.25 mg/mL 时,其抗氧化活性最高。Pinto 等^[14]对百里香精油的成分含量及其组分分析进行了研究,研究结果发现百里香精油所含挥发油成分占总成分的 98.5%,百里香酚及香芹酚含量最多,分别占总成分的 26% 和 21.0%,C-松油烯和对伞花素含量较少,分别占总成分的 8.8% 和 7.8%。其中百里香酚及香芹酚是百里香精油发挥抗氧化活性的主要成分。Lee 等^[15]采用气相色谱和气相色谱与质谱联用技术对百里香精油的成分进行了鉴定,测试结果表明,该精油所含的百里香酚跟香芹酚相比其他成分表现出更强的抗氧化活性。迷迭香精油为唇形科迷迭香属亚灌木或多年生草本植物,其主要依靠鼠尾草酚、迷迭香酸、迷迭香酚等活性成分发挥抗氧化活性。鼠尾草精油主要是依靠 1,8-桉叶素、樟脑和 β -蒎烯等活性成分发挥

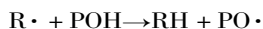
出抗氧化活性作用,快速 TLC-DPPH 筛选实验结果发现该精油发挥抗氧化活性是许多活性成分协同作用的结果,单独使用某个活性成分并不具有很强的抗氧化活性^[11]。

Sivasothy 等^[16]采用水蒸馏法从生姜叶中提取的精油多含石竹烯,而根茎中提取出的精油主要是单萜类化合物,其中蒎烯、天竺葵和乙酸香叶酯是生姜精油中 3 种最丰富的成分。但姜科植物主要依靠黄酮类物质发挥抗氧化活性的功效。伞形科植物(如茴芹和香菜)表现抗氧化活性主要是黄酮类物质和花青素等,桃金娘科植物(如香桃木、桉树和千层树等)发挥抗氧化活性的主要成分是苯丙酯类和丁香酚等^[11]。

1.2 植物精油的抗氧化活性机制

1.2.1 清除自由基 自由基是新陈代谢的副产物,又称游离基,通常分为活性氧自由基(ROS)和活性氮自由基(RNS)。其中,ROS 为主要的自由基,包括超氧化物阴离子(O_2^-)、过氧化氢(H_2O_2)、羟自由基($\cdot OH$)和单线态氧。在体内稳态平衡失调的情况下,大量自由基和活性氧的产生不仅会影响细胞正常生理功能,而且会加剧膜质的过氧化作用,导致与有氧代谢有关的生理生化反应失衡,进而破坏核酸(DNA)、蛋白质、脂质、不饱和脂肪酸等生物大分子结构,使细胞损伤变形或死亡^[17]。目前要降低自由基对人体健康的危害,除了可以依靠体内自由基清除系统外,还可寻找外源性自由基清除剂,利用这些天然物质与自由基结合,以阻断自由基对人体的入侵^[18]。

植物精油作为一种天然安全物质,可以与自由基结合形成更稳定的化合物,起到清除自由基的作用,从而达到抗氧化效果^[19]。这是因为植物精油中除了含有还原性杂原子、不饱和双键之外,还含有多酚及黄酮类物质^[2]。其中多酚物质可以直接淬灭单线态氧、阻止自由基链式反应,还可与过氧自由基有较高的反应活性,可将活泼氢原子传递给自由基,使自由基变成活性较低的物质并将其清除,反应式如下^[11]:



中间产物苯氧自由基($PO\cdot$)由于苯环的共轭效应,相对稳定,不易发生下一步反应。此外, $PO\cdot$ 可以迅速与下一个自由基产生反应,将其清除,反应式如下^[11]:



Shao 等^[20]通过测定 DPPH 自由基和 ABTS⁺自由基清除实验来研究金线莲精油的抗氧化活性。研究发现在 0.05~2 mg/mL 的精油浓度范围内,自由基的清除率与精油浓度呈正相关。当精油浓度为 2 mg/mL 时,该精油对 DPPH 自由基和 ABTS⁺自由基的清除率分别达到 70% 和 90.5% 以上,实验数据表明该精油表现出较好的自由基清除能力。吴克刚等^[21]对 12 种精油在气相条件下清除 DPPH 自由基的能力进行分析,实验结果表明丁香精油对 DPPH \cdot 的清除效果最佳,清除率可高达 80.12%,其次为肉桂精油,清除率

为 43.07%，牛至精油和茶树精油次之，清除率分别为 35.52% 和 27.63%，其他精油对 DPPH· 的清除效果都较差，实验结果说明 12 种植物精油均含有抗自由基活性成分，其清除自由基的效果不仅与精油种类有关，还与植物精油中抗自由基活性含量有关。

1.2.2 与金属离子螯合 植物精油中的某些酚类物质含有两个酚羟基，具备良好的螯合性能，与铜、铁、钙能发生螯合反应，起到抑制油脂的自动氧化作用及防止金属离子诱导自由基的产生，还可减少金属离子对氧化反应的催化作用^[22]。

某些过渡金属离子（如 Fe^{2+} 、 Cu^{2+} 等）可以与 H_2O_2 发生芬顿（Fenton）反应，生成羟自由基（·OH），反应过程如图 1 所示，它是人体在新陈代谢过程中产生对生物体危害最大、反应性最强的一种氧自由基，可以启动与几乎所有生物大分子的自由基链式反应：

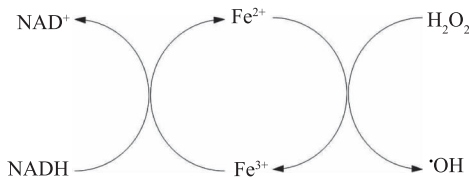


图 1 Fenton 反应产生·OH 示意图^[11]

Fig.1 Schematic diagram of ·OH generated by Fenton reaction^[11]

植物精油中的多酚类物质可以与金属离子螯合，生成相对稳定的配合物，从而抑制金属诱导的自由基的生成，反应过程如图 2 所示。

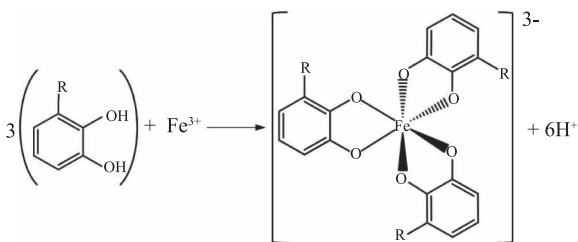


图 2 酚类物质与金属离子发生螯合反应示意图^[11]

Fig.2 Schematic diagram of chelate reaction between phenols and metal ions^[11]

Bi 等^[23]研究发现南天竹果实精油除具有良好清除 DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基和 O_2^- 自由基能力外，还表现出良好金属离子螯合能力，且随着精油浓度的增加，抗氧化活性逐渐增强。Boucekrit 等^[24]通过测定 1,1-二苯基-2-苦基肼（DPPH）自由基清除活性和亚铁还原能力来研究抗氧化活性。研究发现，从新疆油桐中提取的精油具有较强的抗氧化能力，其抗氧化能力接近于常用抗氧化剂丁基羟基茴香醚（BHA）的 4 倍。Juki 等^[25]采用 2,2-二苯基-1-苦基肼（DPPH）自由基清除法和铁还原或者抗氧化能力测定法对百里香精油抗氧化活性进行了研究，两种研究方法结果均表明百里香精油的抗氧化效果与维生素 E 相当。

1.2.3 抑制脂质过氧化 对食品质量而言，脂类的氧化不仅会破坏食品的良好风味，食用过多对人体

的健康也会造成一定的损伤，是造成食品感官品质下降的主要因素之一^[26]。目前，越来越多研究人员为了防止脂质过氧化作用而不断趋向于研究天然抗氧化剂。植物精油的抗氧化活性主要与其所含的活性成分酚类物质的氧化还原特性和化学结构有关，酚羟基可以作为脂肪氧化过程中过氧自由基的供氧体，阻止过氧化羟基的生成，阻断脂质过氧化链式反应，从而保护脂质类基质不被氧化^[11]。

张丽敏等^[27]通过研究发现广藿精油不仅能够清除超氧阴离子自由基及羟自由基，还对 Fe^{2+} 引发的卵磷脂脂质体过氧化有明显的抑制作用，且抑制率与精油浓度呈正相关，具有一定的还原能力和总抗氧化活性，可作为一种良好的自由基清除剂和抗氧化剂。刘艳灿等^[28]研究发现红葱头精油对羟基自由基（·OH）的清除能力可达 90% 以上，对 DPPH 自由基清除能力达到 70% 以上，同时对超氧阴离子自由基的清除能力和抗脂质过氧化能力均在 50% 以上，且随着红葱头精油质量浓度的增加，其抗脂质过氧化能力提高，说明红葱头精油除具有较强的自由基清除能力以外，还具有有效抑制脂质的过氧化作用。

2 植物精油在果蔬保鲜中的应用

植物精油虽然具有较强的抗氧化作用，但直接使用植物精油对果蔬保鲜，会因其本身的气味影响果蔬的风味，且精油浓度过高时还会破坏果蔬的组织结构，不利于贮藏。但将植物精油复合其他技术对果蔬进行保鲜，不仅能使植物精油抗氧化活性物质逐渐释放到果蔬表面，还可减少精油对鲜切果蔬风味的不良影响，也能很好地保持抗氧化效果。

2.1 植物精油熏蒸处理

精油熏蒸处理是指采用植物精油作为熏蒸剂和果实一起放入密闭的场所或容器内反复处理，处理结束后将果实放入消毒的塑料筐内，内衬聚苯乙烯（PE）袋，然后进行封口在室温下放置^[4]。植物精油中由于含有多种生物活性物质，且具有良好的抗氧化活性及安全无毒的特点，被认为是一种理想的天然果蔬保鲜剂^[29]。因此将植物精油作为熏蒸剂对果蔬保鲜具有绿色安全，保鲜效果显著等优点。这是因为在整个熏蒸处理过程中植物精油不需要直接接触果蔬，而是通过气体的空间扩散作用将植物精油的挥发性活性成分均匀的覆盖在果蔬表面，从而有效地保持果蔬抗氧化潜力及延缓果蔬的腐败变质，还可减少果实营养物质的流失，降低精油对果蔬的伤害及影响等众多功效。不仅如此，植物精油许多挥发性活性成分都是醛类、醇类等化合物，这些物质都能在一定条件下转化为醇类，而脂肪族的醇类通常被认为是多酚氧化酶的抑制剂，可以起到抑制水果褐变的作用^[30]。

Perumal 等^[31]研究发现用百里香精油熏蒸处理可提高采后芒果的抗氧化酶活性，包括过氧化物酶、几丁质酶、苯丙氨酸解氨酶、 β -1,3-葡聚糖酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶，也有助于保持酚类含量。李彦虎等^[32]用花椒精油和芥末精油做供试熏蒸剂对双孢菇进行熏蒸处理，研究结果表明，在低温（ 4 ± 1 ）℃条

件下,0.1 mL/kg 花椒精油和 1.5 mL/kg 芥末精油均能有效防止腐烂,降低失重率和可溶性蛋白质含量、抑制褐变,减缓呼吸强度,降低多酚氧化酶和过氧化物酶活性,降低膜脂过氧化水平,可将双孢蘑菇贮藏期延长至 10 d。钱霄晨等^[33]研究发现在 4 ℃ 低温下贮藏 30 d 后,肉桂醛熏蒸处理可明显提高香菇抗氧化酶(APX、CAT、SOD、GR)的活性、TEAC 值和总抗氧化能力。其中,40 nmol/L 的肉桂醛熏蒸处理的效果最佳。由此可知,肉桂醛熏蒸处理能够很好地提高香菇的抗氧化性及抗逆性。

2.2 植物精油微胶囊

植物精油微胶囊是利用天然或合成的高分子成膜材料把分散均匀的植物精油包覆形成一种具有半途性或密封囊膜的微小固体颗粒^[34],再将制好的微胶囊颗粒加入用于包装果蔬的纸箱或塑料薄膜中。植物精油微胶囊化后,可提高植物精油的稳定性并能很好地防止精油敏感成分受到外界环境的影响,解决植物精油易挥发、不稳定性及作用时效短等一系列不良问题,同时可将液态精油转化为固体状态,有利于精油贮藏运输和使用,有效地减少其损失,扩宽植物精油的应用领域^[35]。目前已有研究将植物精油微胶囊化后用于果蔬保鲜上,研究发现微胶囊化的植物精油挥发性延缓,对果蔬风味的不良影响也相对减少,能很好地维持植物精油的抗氧化活性及抗菌效果,使果实保持良好的感官品质,延长果蔬货架期^[4]。因此将精油微胶囊化后用于果蔬保鲜方面有着广泛的应用前景。

张静^[36]以丁香,肉桂及大蒜精油为囊芯,以 β -环糊精(β -CD)为壁材制成微胶囊后用于香菇保鲜的研究。实验结果表明,精油微胶囊处理后可降低香菇中的酶活力,使香菇的生命活动维持在最低水平,其中添加 4% 的肉桂精油微胶囊可显著抑制 PPO 酶活力,从而抑制了香菇褐变及营养成分的损失,起到维持香菇的良好品质,及延长其货架期的效果。薛琼等^[37]研究发现将肉桂精油制成微胶囊可有效减少肉桂精油的气味,延缓了抗氧化活性物质成分的挥发,可对芒果具有良好的保鲜效果。张洪军等^[38]将丁香精油以微胶囊化的形式应用到纸箱中对桃进行保鲜,实验结果发现,在瓦楞纸箱中添加 6.5 g 丁香精油微胶囊并复合 PE 膜处理后,可维持桃的良好感官品质及提高桃果实的抗氧化能力,贮藏 13 d 后好果率依然达到 80%,可以延长其货架期 5~6 d,且精油微胶囊化后可避免果蔬在保鲜过程中保鲜剂的残留问题,同时也可解决植物精油易挥发的问题。

2.3 植物精油复合可食性涂膜

精油复合涂膜是指将植物精油作为抗菌剂或抗氧化剂加入壳聚糖、海藻酸钠等这类天然可食性材料制成的涂膜液中,再将果实浸入其中,捞出后自然风干会在果蔬表层形成一种无色透明的半透膜,可延长果蔬的贮藏时间。这是因为该处理方法可减少植物精油挥发性物质的散失,还具有调节果蔬内部气体交换、抑制果蔬的呼吸和蒸腾作用、降低水分损失及延长货架期的特性^[39]。另外,除半透膜能够有

效抑制多酚氧化酶的活性外,植物精油所含的醛类、醇类等活性成分已被认为是多酚氧化酶的抑制剂,也可以起到抑制水果褐变的作用,从而达到改善果蔬贮藏品质的效果。且植物精油与成膜材料均为可食性物质,因此制得的保鲜薄膜具有安全无毒及可食用的优点,在果蔬贮藏保鲜领域中已引起广泛关注。

Xing 等^[40]研究表明,壳聚糖复合肉桂精油涂膜处理可显著抑制枣果实多酚氧化酶的活性,且良好维持枣果实中维生素 C 和酚类化合物的含量。Azarakhsh 等^[41]采用不同浓度柠檬草精油(0.1%、0.3%、0.5%)复合海藻酸钠涂膜对新鲜菠萝进行研究,实验结果表明,精油浓度过高时会破坏菠萝的硬度及外观,当添加 0.3% 柠檬草精油时,复合涂膜可抑制与褐变相关的酶 PPO 和 POD 活性,改善了菠萝的理化及感官特性,延长菠萝的货架期和保持其良好的质量。冯可等^[42]将壳聚糖与牛至精油复合对鲜切菠萝进行涂膜处理,研究发现,添加 0.5% 的牛至精油可有效减缓菠萝组织结构软化,使得 V_c 含量的降低缓慢,且添加 0.3% 和 0.5% 牛至精油时,可显著降低鲜切菠萝的 POD 和 CAT 活性,在保持鲜切菠萝品质良好的情况下延长它的贮藏期。Mohammadi 等^[43]研究发现壳聚糖复合肉桂精油涂膜可以提高黄瓜贮藏期间的理化品质和抗氧化活性,在 10 ℃ 条件下其货架期可延长至 21 d。Xing 等^[44]研究表明,壳聚糖复合肉桂精油涂膜处理可以降低甜椒果实的腐烂率,良好地保持果实的品质。在第 35 d 时复合涂膜处理过的甜椒果实中清除抗氧化酶(SOD、POD、CAT)的活性更高。

2.4 植物精油保鲜纸

精油保鲜纸是通过将植物精油添加到保鲜纸中得到新型保鲜纸,实现对果蔬的保鲜。精油保鲜纸有一定的透气性,既可以隔离外界有害物质和减少果蔬水分与营养成分散失,又可以提供一定的气体环境,进行气体交换,防止果蔬本身产生的不利气体累积^[4]。目前我国关于精油保鲜纸的研究主要是通过将抑菌性及抗氧化性良好的天然植物研成粉末添加到造纸酱料中,或者将其提取物制成涂膜液涂布、喷淋、浸渍等方式附着在纸张上面,虽然使用方便但是不利于长期保存及远距离运输,影响了精油保鲜纸的应用与发展。

谭瑞心等^[45]利用牛至精油加入羧甲基纤维素中混合制备出新型可降解活性包装膜保鲜纸。并对该保鲜纸的微观结构、抗氧化活性及抑菌性能等进行研究。结果表明,该保鲜纸膜样表面会出现微孔,使精油能够从中释放出来,从而发挥抗氧化和抑菌作用。通过进行 DPPH 自由基清除实验发现,牛至精油的加入能够显著提高保鲜纸膜的抗氧化能力,且抗氧化活性随着精油浓度的增加而显著增强,其中当添加 2% 的牛至精油时该保鲜纸具有最好的抗氧化活性。秦晓芳等^[46]制备了一种以 PVA 涂层为阻隔层,以牛至精油和 1-甲基环丙烯(1-MCP)为保鲜剂的保鲜纸,研究结果发现该保鲜纸对油桃的呼吸作

用产生了良好的抑制作用,可明显降低油桃的 PPO 酶活性及腐烂指数。林晓雨等^[47]研究发现以 PVA 涂层为阻隔层,以牛至精油为抗氧化剂和抗菌剂制备的保鲜纸可降低杏果实的失重率、抑制杏果实呼吸速率及可溶性固形物含量的降低,且该保鲜纸还具有减缓精油抗氧化活性物质的释放,从而延长杏果实的货架期。Kwon 等^[48]用含有牛至精油的聚乙烯醇膜包装圣女果,结果表明,含牛至精油的保鲜纸对圣女果上的病原菌和腐败菌都有明显的抑制作用,可良好维持圣女果的理化特性,延长了圣女果的贮存时间。

3 讨论与展望

植物精油抗氧化活性被认为是精油对许多食品贮藏保鲜应用的基础,植物精油大多数抗氧化效能,可缓解自由基对机体的伤害,有益于延缓机体的衰变。同时它还可与其他有活性物质互利共同维护机体。且在抗菌、抗肿瘤、清除自由基等方面表现出较强的功效。综合考虑,植物精油相对于目前用于食品、制药等工业的传统合成抗氧化剂更安全,其作为天然抗氧化剂及抗菌剂在果蔬贮藏保鲜与加工等方面有着广阔的应用前景与研究价值。

植物精油作为一种天然混合物,由于其组成成分十分复杂。导致目前针对精油中各种单体成分的抗氧化活性的研究相对较少。因此,以后可多注重植物精油单体活性成分的抗氧化及抑菌机制方向的研究,且植物精油容易受到气候、环境、种植地等各种因素的影响,使得精油的研究应用受到一定局限,还应联系实际继续探索开发。

参考文献

[1] Bento M H L, Ouwehand A C, Tiihonen K, et al. Essential oils and their use in animal feeds for monogastric animals—effects on feed quality, gut microbiota, growth performance and food safety: A review [J]. *Veterinárni Medicína*, 2013, 58(9): 449–458.

[2] 王卿, 祁芳斌, 陈发兴, 等. 植物精油对果蔬贮藏保鲜的应用研究进展 [J]. *福建广播电视大学学报*, 2014(1): 89–94.

[3] 潘永梅. 植物精油对枇杷果实常温保鲜的效果及其机理研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.

[4] 韩旭旭, 王玉涵, 王鑫. 植物精油在果蔬保鲜领域的应用研究及展望 [J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(23): 204–208.

[5] Aziz M, Karboune S. Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: A review [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016: 486–511.

[6] Gutierrez J, Rodriguez G, Barryryan C, et al. Efficacy of plant essential oils against foodborne pathogens and spoilage bacteria associated with ready-to-eat vegetables: Antimicrobial and sensory screening [J]. *Journal of Food Protection*, 2008, 71(9): 1846.

[7] Ahmad S R, Gokulakrishnan P, Giriprasad R, et al. Fruit-based natural antioxidants in meat and meat products: A review [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015, 55(11): 1503–1513.

[8] Krasniewska K, Gniewosz M, Kosakowska O, et al. Preservation of brussels sprouts by pullulan coating containing

oregano essential oil [J]. *Journal of Food Protection*, 2016, 79(3): 493–500.

[9] 刘玉廷, 刘文舒, 郭小泽, 等. 植物精油在水产养殖中的研究进展 [J]. *饲料工业*, 2018, 39(8): 59–64.

[10] Bourgou S, Tammar S, Salem N, et al. Phenolic composition, essential oil, and antioxidant activity in the aerial part of artemisia herba-alba from several provenances: A comparative study [J]. *International Journal of Food Properties*, 2016, 19(3): 15.

[11] 温鹏飞, 彭艳. 植物精油抗氧化作用机制研究进展 [J]. *饲料工业*, 2017, 38(2): 40–45.

[12] Fournomiti M, Kimbaris A, Mantzourani I, et al. Antimicrobial activity of essential oils of cultivated oregano (*Origanum vulgare*), sage (*Salvia officinalis*), and thyme (*Thymus vulgaris*) against clinical isolates of *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, and *Klebsiella pneumoniae* [J]. *Microbial Ecology in Health & Disease*, 2015, 26(4): 23289.

[13] Han F, Ma G Q, Yang M, et al. Chemical composition and antioxidant activities of essential oils from different parts of the oregano [J]. *Journal of Zhejiang University—Science B*, 2017, 18(1): 79–84.

[14] Pinto E, Valesilva L, Cavaleiro C, et al. Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on candida, aspergillus and dermatophyte species [J]. *Journal of Medical Microbiology*, 2009, 58(11): 1454–1462.

[15] Lee S J, Umamo K, Shibamoto T, et al. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties [J]. *Food Chemistry*, 2005, 91: 131–137.

[16] Sivasothy Y, Chong W K, Hamid A, et al. Essential oils of *Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade and their antibacterial activities [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(2): 514–517.

[17] Wang W, Wang W H, Dai P, et al. Alu RNA accumulation in hyperglycemia augments oxidative stress and impairs eNOS and SOD2 expression in endothelial cells [J]. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 2016, 426: 91–100.

[18] 柴向华, 刘智臻, 吴克刚. 液相及气相植物精油清除 DPPH 自由基的研究 [J]. *现代食品科技*, 2014, 30(11): 218–222.

[19] 高红豆, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 体外试验法模拟芒果中主要抗氧化物的相互作用关系 [J/OL]. *现代食品科技*: 1–6 [2019-03-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1620.TS.20190304.1558.006.html>.

[20] Shao Q S, Deng Y M, Liu H B, et al. Essential oils extraction from *Anoectochilus roxburghii* using supercritical carbon dioxide and their antioxidant activity [J]. *Industrial Crops & Products*, 2014, 60: 104–112.

[21] 吴克刚, 黄洁虹, 柴向华, 等. 植物精油气相清除 DPPH 自由基的研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2013(3): 110–113.

[22] 张海霞. 天然抗氧化剂茶多酚在食品贮藏保鲜中的应用 [J]. *食品安全导刊*, 2015(30): 137–138.

[23] Bi S F, Zhu G Q, Wu J, et al. Chemical composition and antioxidant activities of the essential oil from *Nandina domestica* fruits [J]. *Natural Product Research*, 2016, 30(3): 362–365.

[24] Bouchekrit M, Laouer H, Hajji M, et al. Essential oils from *elaeoselinum asclepium*: Chemical composition, antimicrobial and antioxidant properties [J]. *Asian Pacific Journal of Tropical*

- Biomedicine, 2016, 6(10): 851-857.
- [25] Juki M, Miloš M. Catalytic oxidation and antioxidant properties of thyme essential oils (*Thymus vulgaris* L.) [J]. *Croatia Chemica Acta*, 2005, 78(1): 105-110.
- [26] 刘万臣. 丁香精油抗菌性、抗氧化活性及其对果蔬贮藏效果的研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2008.
- [27] 张丽敏, 姜涛. 广藿香精油抗氧化活性的研究[J]. *中国野生植物资源*, 2016, 35(6): 31-34.
- [28] 刘艳灿, 袁杨, 翁艾慧, 等. 红葱头精油体外抗氧化及抑菌效果研究[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(11): 246-252.
- [29] Sajomsang W. Synthetic methods and applications of chitosan containing pyridylmethyl moiety and its quaternized derivatives: A review [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 80(3): 631-647.
- [30] 张智毅. 正己醛结合反-2-己烯醛熏蒸鲜切菠萝蜜保鲜技术研究[D]. 海口: 海南大学, 2014.
- [31] Perumal A B, Sellamuthu P S, Nambiar R B, et al. Effects of essential oil vapour treatment on the postharvest disease control and different defence responses in two mango (*Mangifera indica* L.) cultivars [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(6): 1131-1141.
- [32] 李彦虎, 负建民, 毕阳, 等. 两种精油熏蒸处理对双孢蘑菇贮藏特性的影响[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-14 [2019-03-11]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.019267>.
- [33] 钱霄晨, 蔺凯丽, 黄琦, 等. 肉桂醛熏蒸处理对香菇采后抗氧化能力及多胺的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-11 [2019-03-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20181218.1211.014.html>.
- [34] 龙娅, 胡文忠, 萨仁高娃, 等. 鲜切果蔬精准保鲜包装技术的研究进展[J/OL]. *食品与发酵工业*: 1-10 [2019-03-19]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.019443>.
- [35] 王慧, 杨子明, 周闯, 等. 纳米微胶囊技术及其在植物精油中的应用[J]. *高分子通报*, 2018(9): 41-46.
- [36] 张静. 植物精油微胶囊保鲜香菇的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2014.
- [37] 薛琼, 刘跃军, 向贤伟, 等. 肉桂精油微囊化及其在果蔬保鲜中的应用[J]. *包装工程*, 2016, 37(5): 50-54, 88.
- [38] 张洪军, 高康. 丁香精油微胶囊对桃果实保鲜效果的研究[J]. *包装与食品机械*, 2015, 33(3): 19-23.
- [39] 萨仁高娃, 胡文忠, 修志龙, 等. 可食性活性涂膜在鲜切果蔬保鲜中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(7): 2427-2433.
- [40] Xing Y, Xu Q, Che Z, et al. Effects of chitosan-oil coating on blue mold disease and quality attributes of jujube fruits [J]. *Food & Function*, 2011, 2(8): 466.
- [41] Azarakhsh N, Osman A, Ghazali H M, et al. Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 88: 1-7.
- [42] 冯可, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 壳聚糖涂膜与牛至精油复配对鲜切菠萝的保鲜作用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(7): 2475-2481.
- [43] Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini S M. Chitosan nanoparticles loaded with *Cinnamomum zeylanicum* essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 110: 203-213.
- [44] Xing Y, Li X, Xu Q, et al. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(4): 1443-1450.
- [45] 谭瑞心, 张万刚, 周光宏. 牛至精油-羧甲基纤维素活性包装膜制备及其抗氧化和抗菌性能研究[J/OL]. *食品工业科技*: 1-9 [2019-03-14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190123.1604.023.html>.
- [46] 秦晓芳, 王建清, 王玉峰, 等. 新型复合保鲜纸的制备及在油桃保鲜中的应用[J]. *包装与食品机械*, 2017, 35(4): 1-5, 42.
- [47] 林晓雨, 王玉峰, 王建清, 等. 牛至精油保鲜纸的制备及在杏保鲜中的应用[J]. *中国果菜*, 2016, 36(8): 1-5.
- [48] Kwon S J, Chang Y, Han J. Oregano essential oil-based natural antimicrobial packaging film to inactivate, *Salmonella enterica* and yeasts/molds in the atmosphere surrounding cherry tomatoes [J]. *Food Microbiology*, 2017, 65(Complete): 114-121.
- (上接第 342 页)
- kitchen waste by a two-step enzymatic hydrolysis pretreatment [J]. *Applied Biochemistry & Biotechnology*, 2017, 183(3): 1-13.
- [40] Xu X, Nie Z, Zheng Z, et al. Production and rheological properties of welan gum produced by *Sphingomonas* sp. ATCC 31555 with different nitrogen sources [J]. *Journal of Molecular Microbiology & Biotechnology*, 2017, 27(1): 55.
- [41] Xu X, Nie Z, Zheng Z, et al. Different nitrogen sources change the transcriptome of welan gum-producing strain *Sphingomonas* sp. ATCC 31555 [J]. *Archives of Microbiology*, 2017, 199(7): 1-10.
- [42] Drevetton, Monot F, Ballerini D, et al. Effect of mixing and mass transfer conditions on gellan production by *Auromonas elodea* [J]. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1994, 77(6): 642-649.
- [43] Li H, Xu H, Li S, et al. Effects of dissolved oxygen and shear stress on the synthesis and molecular weight of welan gum produced from *Alcaligenes* sp. CGMCC2428 [J]. *Process Biochemistry*, 2011, 46(5): 1172-1178.
- [44] Li H, Xu H, Xu H, et al. Enhanced welan gum production using a two-stage agitation speed control strategy in *Alcaligenes* sp. CGMCC2428 [J]. *Bioprocess & Biosystems Engineering*, 2011, 34(1): 95.
- [45] Nielsen D R, Daugulis A J, Mclellan P J. A novel method of simulating oxygen mass transfer in two-phase partitioning bioreactors [J]. *Biotechnology & Bioengineering*, 2010, 83(6): 735-742.
- [46] Li H, Xu H, Li S, et al. Optimization of exopolysaccharide welan gum production by *Alcaligenes* sp. CGMCC2428 with Tween-40 using response surface methodology [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(2): 1363-1368.
- [47] 刘汝冰. 新型微生物多糖威兰胶的发酵研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.